من إصدارات
المركز العلمي للترجمة



الوحدة الثالثة
الديناميكا الحرارية
Thermodynamics



الجزء التاسع عشر
درجة الحرارة
Temperature

ترجمة
الدكتور حازم فلاح سكيك





توثيـــــق

م	البند	البيان
1	المصدر	**Physics for Scientists and Engineers** **By** **Raymond A. Serway & John W. Jewett** **6th Edition**
2	الموضوع	الوحدة الثالثة الديناميكا الحرارية الجزء التاسع عشر درجة الحرارة
3	المترجم	د./ حازم فلاح سكيك
4	المراجعة العلمية	
5	المراجعة اللغوية	
6	التصنيف	فيزياء
7	الفئة	كتاب
11	التاريخ	2009-4-8



د. حازم فلاح سكيك
www.trgma.com

PART 3

سوف نبدأ في الوحدة الثالثة دراسة علم الديناميكا الحرارية thermodynamics، والذي يهتم بدراسة التغير في درجة حرارة النظام والتغير في حالته (الصلبة أو السائلة أو الغازية) نتيجة لتحول الطاقة من وإلى النظام. وكما سوف نرى، فإن علم الديناميكا الحرارية مفيد في شرح وتوضيح خواص المواد وعلاقة هذه الخواص مع الذرات والجزئيات المكونة للمادة.

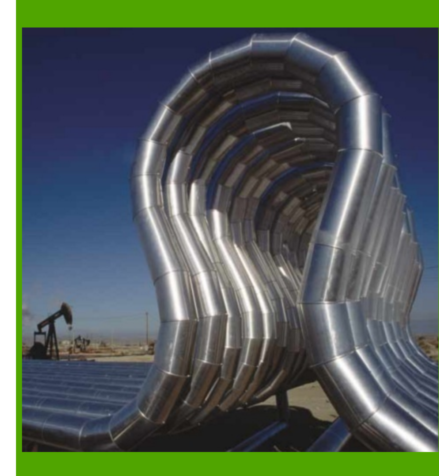
تاريخياً، إن تطور علم الديناميكا الحرارية يوازي التطور في النظرية الذرية للمادة. ففي الأعوام 1829 أثبتت التجارب الكيميائية بما لا يدع مجالا للشك على وجود الذرات. وفي تلك الفترة، اثبت العلماء على ضرورة وجود علاقة بين الديناميكا الحرارية وتركيب المادة. في العام 1827، لاحظ العالم النباتي Robert Brown إن حبوب اللقاح المعلقة في سائل تتحرك حركة متعرجة من مكان لأخر كما لو إنها تتعرض لإثارة ثابتة. في العام 1905، استخدم العالم ألبرت اينشتين Albert Einstein النظرية الحركية للغازات لشرح سبب هذه الحركة المتعرجة والتي تعرف اليوم باسم الحركة البراونية Brownian motion. اثبت اينشتاين هذه الظاهرة بافتراض إن حبيبات اللقاح تتعرض لتصادمات مستمرة من جسيمات غير مرئية هي جزئيات السائل والتي هي أيضا تتحرك حركة متعرجة. هذا الشرح والتوضيح وفر للعلماء فكرة دقيقة عن حركة الجزئيات والتي بدورها ساهمت في تعزيز فكرة بناء المادة من الذرات. وبهذا أصبح هناك رابط بين المادة بمختلف أنواعها والجسيمات الدقيقة الغير مرئية كعنصر أساسي في بناء مادة هذا الكون.

Alyeska هو خط أنابيب نفط بالقرب من نهر Tazlina في Alaska. النفط في الأنابيب يسخن، والطاقة الناتجة عن ذلك يمكن أن تتسبب في ذوبان الوسط المحيط مما يؤثر على طبيعة المنطقة. ولذلك فان الألواح المثبتة على قمة الأنابيب تعمل على تبديد الحرارة في الهواء لتحمي المنطقة.





دراسة علم الديناميكا الحرارية يفسر لنا الكثير الأسئلة والاستفسارات العملية. فمثلا هل فكرت كيف تتمكن الثلاجة من تبريد محتوياتها، وما هي طبيعة التحولات التي تحدث في محطات الطاقة وفي محركات السيارات، أو ماذا يحدث للطاقة الحركية للأجسام المتحركة عندما تتوقف؟ قوانين الديناميكا الحرارية توفر لنا تفسيرات لكل هذه الظواهر وغيرها.



لماذا يتم تصميم أنابيب في شكل حلقة غريبة الشكل؟ هذه الأنابيب تنقل سوائل وفي الغالب هذه الحلقات تسمح لها التمدد والانكماش عند حدوث تغيرات في درجة الحرارة. نحن سوف ندرس في هذا الجزء التمدد الحراري؟







الوحدة الثالثة: الديناميكا الحرارية

الجزء التاسع عشر: درجة الحرارة

Temperature and zeroth law of thermodynamics	درجة الحرارة والقانون الصفري في الديناميكا الحرارية
Temperature and the Celsius temperature scale	درجة الحرارة والتدريج المئوي
The constant-volume gas thermometer and the absolute temperature scale	مقياس حجم الغاز الثابت لدرجة الحرارة والتدريج المطلق
Thermal expansion of solids and liquids	التمدد الحراري للمواد الصلبة والسائلة
Macroscopic description of an ideal gas	الوصف الجاهري للغاز المثالي

د. حازم فلاح سكيك
www.trgma.com





مقدمة

في دراستنا لعلم الميكانيكا، قمنا بتعريف دقيق لكل من الكتلة والقوة وطاقة الحركة كأساسيات لفهم علم الميكانيكا. وبنفس الطريقة سنقوم بتعريف كمي للظواهر الحرارية مثل درجة الحرارة temperature وكمية الحرارة heat والطاقة الداخلية internal energy. في هذا الجزء سوف نبدأ بمناقشة درجة الحرارة وأول قوانين الديناميكا الحرارية والذي يعرف بالقانون الصفري zeroth law للديناميكا الحرارية.

ثم بعد ذلك، سوف نناقش لماذا تعتبر طبيعة المادة عنصر مهم لدراسة الظواهر الحرارية. على سبيل المثال، الغازات تتمدد كثيرا عندما تسخن، في حين إن تمدد السوائل والمواد الصلبة يكون بدرجة قليلة.

سندرس في هذا الجزء أيضا الوصف الجاهري macroscopic للغاز المثالي، وسنركز على العلاقة بين الضغط والحجم ودرجة الحرارة. وفي الجزء 21، سوف نركز على الوصف الجوهري microscopic للغاز المثالي بالاعتماد على إن الغاز مكون من جسيمات دقيقة كنموذج لدراسة الغازات.



د. حازم فلاح سكيك
www.trgma.com



1.19 درجة الحرارة والقانون الصفري للديناميكا الحرارية Temperate and the zeroth law of thermodynamics

في أغلب الأحيان نربط مفهوم درجة الحرارة بمقدار السخونة أو البرودة التي نشعر بها عندما نلمس جسم ما. أي إننا اعتمدنا على احد حواسنا وهي اللمس في تقدير درجة حرارة الجسم. ولكن، الاعتماد على حاسة اللمس لا تعتبر طريقة يعتمد عليها وغالبا ما تخدعنا. على سبيل المثال، إذا قمنا برفع علبتين احدهما معدنية والأخرى من البلاستيك من داخل مبرد الثلاجة سنشعر إن العلبة المعدنية أكثر برودة من العلبة البلاستيكية بالرغم من إن لهما نفس درجة الحرارة. والسبب في إن العلبة المعدنية تبدو لنا من ملمسها ابرد من الأخرى يعود إلى إن توصيل الحرارة في المعدن أسرع منه في البلاستيك، وعليه يكون معدل انتقال الطاقة الحرارية بين المعدن واليد أسرع من معدل انتقال الطاقة الحرارية من البلاستيك إلى اليد. ولهذا فإننا بحاجة إلى أداة دقيقة ويعتمد عليها في قياس درجات الحرارة للأجسام لا تعتمد على معدل انتقال الطاقة بين المواد المختلفة. لقد طور علماء الديناميكا الحرارية العديد من مقاييس درجات الحرارة تعرف باسم ترمومتر thermometer لتقوم بقياس درجة الحرارة بدقة.

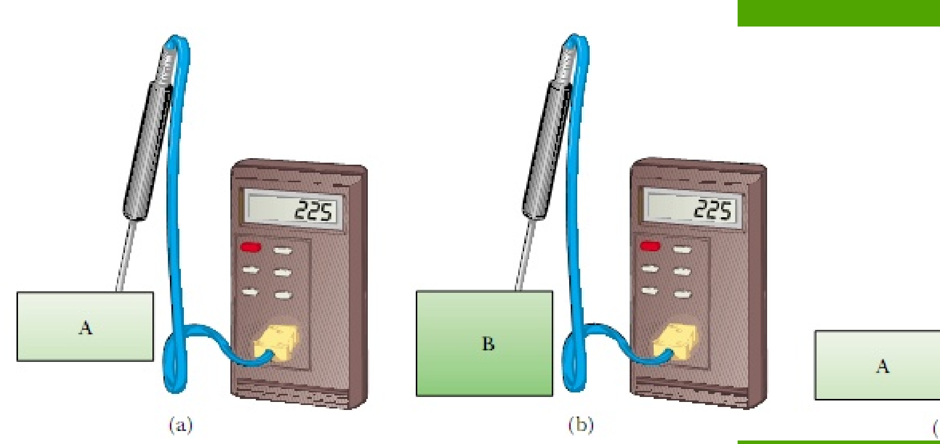
من المعلوم لنا إن أي جسمين عند درجات حرارة مختلفة عند توصيلهما مع بعضهما البعض فإنهما يصلان في النهاية إلى درجة حرارة واحدة. على سبيل المثال، عندما نخلط ماء حار مع ماء بارد في حوض فان درجة حرارة الخليط





سوف تكون بين درجة حرارة الماء الحار ودرجة حرارة الماء البارد. وبالمثل، عندما نضع قطعة من الثلج في ماء مغلي فان قطعة الثلج تبدأ في الذوبان وتقل درجة حرارة الماء.

ولفهم مبدأ درجة الحرارة فانه من المفيد أن نعرف بعض المصطلحات الأساسية المستخدمة في دراسة هذا العلم: مثل الاتصال الحراري thermal contact والاتزان الحراري thermal equilibrium. ولتوضيح مفهوم الاتصال الحراري، تخيل جسمين موضوعين داخل وعاء معزول حراريا بحيث يتفاعلا مع بعضهما البعض بدون أن يكون هناك أي تأثير للوسط الخارجي عليهما. فإذا كان الجسمين عند درجات حرارة مختلفة يحدث بينهما تبادل للطاقة الحرارية بعد طرق كما تم توضيحه في الجزء السابع من هذا الكتاب. والاتصال الحراري بين الأجسام يحدث عندما يكون هناك تبادل للطاقة نتيجة لاختلاف درجات الحرارة.



الشكل 1.19 يوضح القانون الصفري للديناميكا الحرارية. (a) و (b) إذا كان الترمومتر (الجسم C) متصل حراريا مع الجسم A والجسم B ويعطي نفس درجة الحرارة فان كلا من درجة حرارة A و B متساوية. (c) أي انه لن يكون هناك تبادل حراري بين الجسمين A و B عند وضعهما في اتصال حراري مع بعضهما البعض.



د. حازم فلاح سكيك
www.trgma.com



الاتزان الحراري thermal equilubrium هي الحالة التي لايكون فيها تبادل حراري بين جسمين متصلين حرارياً.

لنفترض جسمين A و B ليس بينهما اتصال حراري، ولنفترض جسم اخر C والذي هو أداة قياس درجة الحرارة (ترمومتر) الذي سوف نستخدمه لمعرفة اذا كان هناك اتزان حراري بين الجسمين A و B ام لا. نقوم بوضع الترمومتر (الجسم C) في الجسم A ليكون هناك اتصال حراري بينهما، وننتظر حتى يصبحا في حالة اتزان حراري كما في الشكل 19.1 a. وعندما تستقر قراءة الترمومتر ندون تلك القراءة. ثم نقوم بتكرار نفس الشيء مع الجسم B كما في الشكل b19.1 . اذا كانت القرائتين في الترمومتر متساويتين فان هذا يدل على ان كلا من الجسم A والجسم B في حالة اتزان حراري. أي اذا ما تم توصيل الجسمين A و B حراريا كما في الشكل 19.1 c فلن يحدث بينهما انتقال للطاقة.

نلخص هذه النتائج في قانون يعرف باسم القانون الصفري للديناميكا الحرارية zeroth law of thermodynamics او قانون الاتزان الحراري thermal equilibrum law.

القانون الصفري للديناميكا الحرارية zeroth law of thermodynamics

إذا كان جسمين A و B في حالة اتزان حراري مع جسم ثالث C، فإن كلا من A و B في حالة اتزان حراري مع بعضهما البعض.



د. حازم فلاح سكيك
www.trgma.com



هذا التعريف يمكن التحقق منه عمليا وبالرغم من وضوحه وبساطته إلا انه مهم جدا في تعريف درجة الحرارة. حيث يمكن أن نعرفها على إنها خاصية تبين إذا ما كان الجسم في حالة اتزان حراري مع جسم أخر. بمعنى إن **أي جسمين في حالة اتزان حراري مع بعضهما البعض فان درجة حرارتهما متساوية**. وبالعكس، إذا كان جسمين لهما درجات حرارة مختلفة لا يكون بينهما اتزان حراري.

سؤال للتفكير 19.1

جسمان مختلفان في الحجم والكتلة ودرجة الحرارة في حالة اتصال حراري. تنتقل الطاقة (a) من الجسم الأكبر إلى الجسم الأصغر، (b) من الجسم ذو الكتلة الأكبر إلى الجسم ذو الكتلة الأصغر، (c) من الجسم الذي له درجة حرارة أكبر إلى الجسم الذي له درجة حرارة أقل.



د. حازم فلاح سكيك
www.trgma.com



2.19 الترمومتر والمقياس المئوي لدرجة الحرارة Thermometers and Celsius temperature scale

الترمومتر هو جهاز يستخدم لقياس درجة حرارة أي نظام. وتتواجد الترمومترات بأنواع مختلفة ولكن جميعها تعتمد على مبدأ تغير خاصية فيزيائية مع درجة الحرارة. ومن الخواص الفيزيائية التي تتغير بتغير درجة الحرارة هي

(1) حجم السائل.

(2) أبعاد الجسم الصلب.

(3) ضغط الغاز عند حجم ثابت.

(4) حجم الغاز عند ضغط ثابت.

(5) المقاومة الكهربية للمادة الموصلة.

(6) لون الجسم.

وبالإمكان تصميم مقياس لدرجة الحرارة يعتمد على أي من الخواص الفيزيائية السابقة.

من مقاييس درجة الحرارة المعروفة والمستخدمة في حياتنا اليومية هو الترمومتر الذي يعتمد على تغير كتلة سائل (في الأغلب يكون هذا السائل هو الزئبق أو الكحول) موضوع في أنبوبة من الزجاج عند تغير درجة الحرارة (الشكل



د. حازم فلاح سكيك
www.trgma.com



2.19). في هذه الحالة فإن الخاصية الفيزيائية التي تتغير هي حجم السائل. أي تغير في درجة الحرارة يتناسب مع ارتفاع السائل في الأنبوبة الزجاجية. وبمعايرة الترمومتر عن طريق وضعه في وسط له درجة حرارة ثابتة ومعروفة مثل خليط من الماء والثلج عند الضغط الجوي فإذا أصبح الترمومتر في حالة اتزان حراري مع الخليط فان ارتفاع السائل فيه سوف يشير إلى درجة حرارة الخليط. على التدريج المئوي الذي يعرف بالتدريج السيليزس Celsius scale، فان درجة حرارة الخليط هي الصفر وتكتب $0^{o}C$ أي صفر درجة سيليزس، وهي درجة حرارة تجمد الماء. وبالتالي أصبح لدينا الآن درجة حرارة مقاسه بارتفاع عمود السائل في الترمومتر، نحتاج الآن لنقطة مرجعية أخرى وسنأخذ درجة حرارة غليان الماء وعندها يكون لدينا خليط من الماء وبخار الماء عند الضغط الجوي حيث تكون درجة الحرارة لهذا الخليط ثابتة وسنفترض إنها تساوي $100^{o}C$ والتي تعرف بنقطة التبخر للماء أو تحول الماء إلى بخار ماء. وعندما يصل ارتفاع عمود السائل في الترمومتر إلى نقطة الاتزان الحراري مع الخليط فان هذا الارتفاع يعبر عن درجة حرارة الخليط والتي ستكون حسب ما افترضنا هي $100^{o}C$ وبالتالي يصبح لدينا على المقياس درجتين حرارة عند 0 وعند 100 وبتقسيم المسافة بينهما إلى 100 قسم فان كل قسم يعبر عن درجة حرارة مئوية. بمعني إذا ارتفع عمود السائل في الترمومتر 5 درجات على المقاييس فان درجة الحرارة تكون زادت بمقدار 5 درجات مئوية أو سيليزس.





إن معايرة الترمومتر بهذه الطريقة تعتبر طريقة جيدة للحصول على مقياس درجة حرارة للاستخدامات العادية ولكن من اجل الحصول على قياسات دقيقة للتغيرات في درجة الحرارة سوف تظهر لنا مشكلة، فعلى سبيل المثال قراءات الترمومتر الكحولي سوف تتفق مع قراءات الترمومتر الزئبقي فقط عند نقاط المعايرة وهي الصفر و $100^{o}C$ ولكن بينهما لن يكون اتفاق لان معامل التمدد الحراري لكل سائل تختلف عن الأخر، فعندما يشير تيرمومتر إلى $50^{o}C$ فان الآخر قد يشير إلى قراءة مختلفة قليلاً.

هذا الاختلاف في القراءات قد يكون كبيرا عندما تكون درجات الحرارة بعيدة عن نقاط المعايرة فمثلا أقصى درجة حرارة استخدمت لمعايرة الترمومتر كانت $100^{o}C$ وعند استخدام هذا التدريج لقياس درجة حرارة نظام عند $500^{o}C$ أو أكثر يكون هناك فرق كبير في قراءات الترمومتر الكحولي عن الزئبقي.









الشكل 2.19 يوضح نتائج التمدد الحراري، مستوى الزئبق في الترمومتر يرتفع بتسخين الزئبق في وعاء به ماء

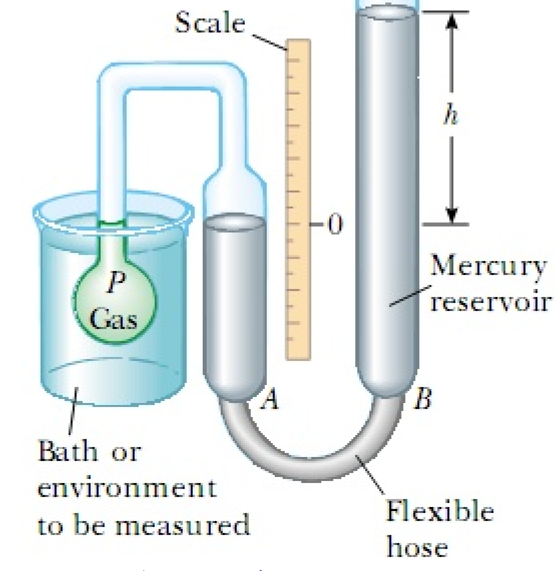




بالإضافة إلى ما سبق فان مشكلة عملية أخرى سوف تواجهنا وهي المدى المحدود من درجات الحرارة التي يمكن أن يستخدم فيها الترمومتر لقياس درجات الحرارة. فعلى سبيل المثال الترمومتر الزئبقي لا يمكن أن يستخدم عند درجات حرارة اقل من درجة حرارة تجمد الزئبق، وهي -39°C، والترمومتر الكحولي لا يمكن أن يستخدم عن درجات حرارة اعلي من 85°C، درجة حرارة غليان الكحول. وللتغلب على هذه المشكلة، فإننا بحاجة إلى ترمومتر عالمي لا تعتمد قراءاته على طبيعة المادة المستخدمة فيه. ترمومتر الغاز سوف يكون الوسيلة لحل هذه المشكلة كما سيتم توضيح ذلك.

3.19 ترمومتر الغاز ذو الحجم الثابت والتدريج المطلق لدرجة الحرارة The constant-volume gas thermometer and the absolute temperature scale

من احد أنواع الترمومترات الغازية ترمومتر الغاز ذو الحجم الثابت والموضح في الشكل 3.19. الكمية الفيزيائية التي تتغير مع درجة الحرارة هو تغير الضغط عند ثبوت حجم الغاز. أول ما تم اختراع هذا الترمومتر تم معايرته باستخدام الثلج وبخار الماء كنقاط ثابتة درجة الحرارة على النحو التالي. تم غمر دورق الغاز في حوض من الثلج والماء، ومن ثم تم ضبط ارتفاع مستودع الزئبق B برفعه وخفضه حتى استقر مستوى الزئبق في العمود A عند



الشكل 3.19 ترمومتر الغاز ذو الحجم الثابت يقيس الضغط للغاز المحصور في الدورق المغمور في الحوض. يتم الحفاظ على حجم الغاز في الدورق ثابتاً عن طريق التحكم في ارتفاع المستودع B ليكون مستوى الزئبق في العمود A ثابتاً.

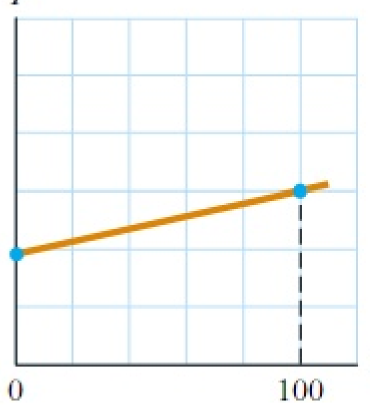




النقطة صفر على التدريج الموضح في الشكل 19.3. الارتفاع h يمثل الفرق بين مستوى الزئبق في المستودع B والعمود A، وهذا يشير إلى الضغط في الدورق عند درجة حرارة 0^oC.

في المرحلة الثانية تم غمر الدورق في ماء يغلي، وتم اخذ قراءة المستودع B وبنفس الطريقة تم ضبط ارتفاع المستودع B حتى أصبح مستوى الزئبق في العمود A عند النقطة صفر على التدريج.، وهذا يضمن أن حجم الغاز في الدورق لم يتغير عندما كان مغمورا في حوض الماء والثلج. إعادة ضبط ارتفاع المستودع B أعطانا قيمة ضغط الغاز عند درجة حرارة 100^oC. برسم قيمتي الضغط عند درجتي الحرارة نحصل على الشكل 4.19. الخط الواصل بين النقطتين يستخدم كمنحنى معايرة لأي درجة حرارة غير معروفة. فإذا ما أردنا أن نقيس درجة حرارة مادة ما، نقوم بوضع دورق الغاز في حالة اتزان حراري مع المادة ومن ثم إعادة ضبط ارتفاع المستودع B حتى يصل ارتفاع الزئبق في العمود A إلى القيمة صفر على التدريج. ارتفاع عمود الزئبق يشير إلى ضغط الغاز في الدورق، وإذا ما عرفنا قيمة الضغط نستخدم المنحنى في الشكل 4.19 للحصول على درجة الحرارة للمادة.

الآن دعنا نفترض إن درجة الحرارة المقاسة بواسطة تيرمومتر الغاز يحتوي على أنواع أخرى من الغازات عند ضغط مختلف لكل غاز. التجارب العملية بينت إن قراءة الترمومتر لا تعتمد على نوع الغاز المستخدم، طالما كانت قيمة ضغط الغاز منخفضة ودرجة الحرارة أعلى من درجة تحول الغاز إلى سائل (الشكل 5.19). التوافق في قراءة الترمومترات التي تحتوي على غازات مختلفة يتحسن أكثر كلما انخفض الضغط.

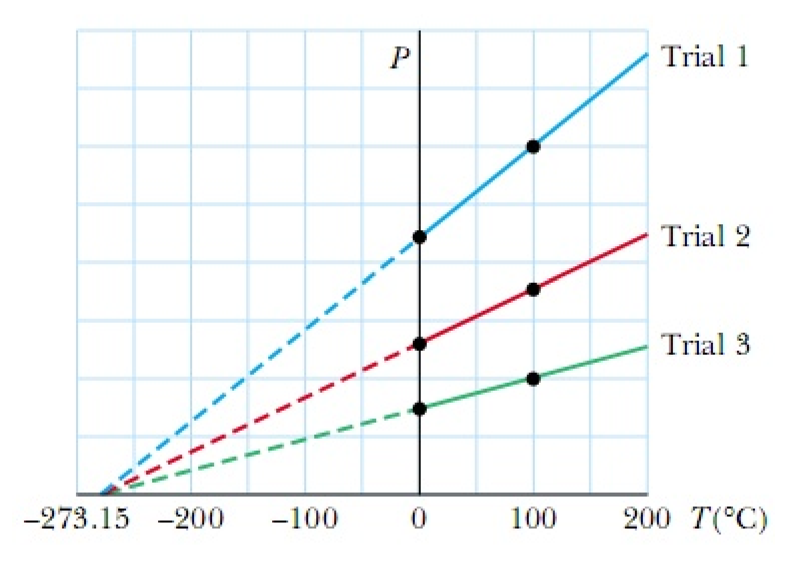


الشكل 4.19 منحنى نموذجي لعلاقة الضغط مع درجة الحرارة في ترمومتر الغاز ذو الحجم الثابت. النقطتين تمثلان نقاط مرجعية معروفة (نقطة الثلج والبخار للماء).



د. حازم فلاح سكيك
www.trgma.com





الشكل 5.19 يوضح العلاقة بين الضغط ودرجة الحرارة لتجارب عملية أجريت على مجموعة من الغازات عند ضغط مختلف مع ثبوت الحجم للغاز في الترمومتر . لاحظ إن للغازات الثلاثة المستخدمة إن الضغط يتناقص لجميع الغازات ويؤول الضغط لجميع أنواع الغازات إلى الصفر عند درجة حرارة $-273.15^{o}C$.

إذا ما قمنا بمد الخطوط المستقيمة في الشكل 5.19 في اتجاه درجة الحرارة السالبة، سوف نجد نتيجة مذهلة– **في كل الحالات، الضغط يصبح صفر عندما درجة حرارة $-273.15^{o}C$!** هذا يؤدي إلى اقتراح قاعدة خاصة بترمومتر الغاز.





لقد استخدمت هذه النتيجة كقاعدة لتدريج درجة الحرارة المطلقة absolute temperature scale، بوضع درجة الحرارة $-273.15^{o}C$ هي الدرجة صفر. وهذه الدرجة تعرف باسم الصفر المطلق absolute zero. ولقد تم اختيار الفرق بين نقطتين على التدريج السيليزس تساوي الفرق بين نقطتين على التدريج المطلق. ولهذا يكون التحويل بين التدريج السيليزس والتدريج المطلق يعطى بالمعادلة (1.19)

$$T_C = T - 273.15 \qquad (19.1)$$

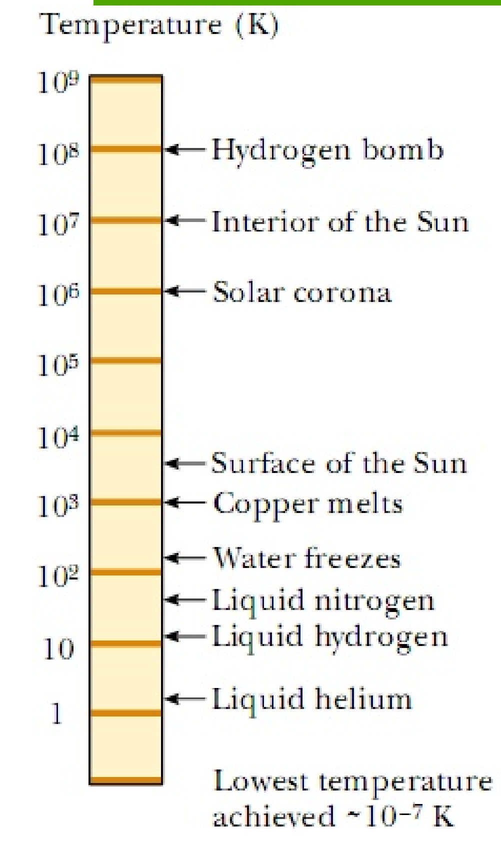
حيث T_C هي درجة الحرارة بالتدريج السيليزس و T درجة الحرارة المطلقة.

ولان نقطة التجمد والغليان للماء هما نقطتين من الصعب تكرارهما، فإن مقياس درجة الحرارة المطلق على أساس نقطتين ثابتتين تم اعتماده في العام 1954 بواسطة لجنة القياسات والموازين الدولية. النقطة الأولى هي نقطة الصفر المطلق. النقطة الثانية التي استند إليه التدريج المطلق هي النقطة الثلاثية للماء triple point of water، والتي عندها يتواجد الماء وبخار الماء والثلج في حالة توازن حراري أي إن الماء يكون في حالاته الثلاثة الصلبة والسائلة والغازية عند ضغط ودرجة حرارة معينة. النقطة الثلاثية تحدث عند درجة حرارة $0.01^{o}C$ وضغط يعادل 4.58mm زئبق. على التدريج الجديد، والذي يستخدم وحدة الكلفن kelvin، تكون درجة حرارة الماء عند النقطة الثلاثية 273.16 كلفن، وتكتب 273.16 K. هذا الاختيار تم اعتماده بحيث إن مقياس درجة الحرارة المطلق القديم والمعتمد على نقطة تجمد الماء ونقطة الغليان تتفق بشكل كبير مع التدريج الجديد المعتمد على النقطة الثلاثية. التدريج المطلق الجديد لدرجة





الحرارة يعرف أيضا بتدريج كلفن Kelvin scale يستخدم وحدة الكلفن كوحدة أساسية في نظام الوحدات العالمي SI، **ويعرف الكلفن على انه فرق مقداره 1/273.16 بين الصفر المطلق ودرجة حرارة النقطة الثلاثية للماء.**



الشكل 6.19

الشكل 6.19 يوضح درجة الحرارة المطلقة لعدد من العمليات الفيزيائية وبعض المركبات الكيميائية. درجة حرارة الصفر المطلق (0K) لا يمكن الوصول لها، بالرغم من ان بعض التجارب العملية باستخدام تبريد الليزر للذرات اقترب كثيرا من هذه الدرجة. لاحظ إن التدريج لوغارثمي.

ماذا يحدث للغاز إذا وصلت درجة حرارته 0 K (ولم يتم تحوله إلى سائل أو صلب)؟ كما هو موضح في الشكل 5.19، الضغط المبذول على جدران الوعاء سوف يكون صفر. في الجزء 21 سوف نثبت إن ضغط الغاز يتناسب طرديا مع متوسط الطاقة الحركية للجزئيات. وعليه، طبقا للفيزياء الكلاسيكية، الطاقة الحركية لجزئيات الغاز تصبح صفر عند درجة حرارة الصفر المطلق، وتتوقف الجزئيات عن الحركة كلياً، وعليه، فان الجزئيات سوف تستقر في أسفل الوعاء. النظرية الكمية تعدل هذا التوقع وتثبت إن هناك طاقة متبقية، تعرف باسم طاقة النقطة صفر zero-point energy، سوف تبقى عند درجة الحرارة المنخفضة.



د. حازم فلاح سكيك
www.trgma.com



التدريج السليزس والفهرنهيتي والمطلق لدرجة الحرارة The Celsius, Fahrenheit, and Kelvin Temperature Scales

المعادلة 1.19 توضح إن درجة الحرارة السيليزية T_C مزاحة عن درجة الحرارة المطلقة T بمقدار 273.15^o. لان مقدار الدرجة في مقياس الحرارة السيليزي يعادل تماما مقدار درجة الحرارة في التدريج المطلق فان فرق درجات الحرارة بين التدريجيين متساوية فمثلا كان فرق درجة الحرارة على التدريج السيليزي يساوي 5^oC فان الفرق في درجات الحرارة على التدريج المطلق هو نفسه 5 K. يختلف التدريجيين فقط في نقطة الصفر. ولهذا نقطة التجمد على المقياس المطلق تساوي 273.15 K تقابل على التدريج السيليزي 0.00^oC، ونقطة الغليان على التدريج المطلق هي 373.15 K والتي تكافئ درجة الحرارة 100.00^oC على التدريج السيليزي.

يوجد هناك تدريج شائع الاستخدام في الولايات المتحدة الأمريكية وهذا التدريج يعرف باسم تدريج فهرنهايت Fahrenheit scale. هذا التدريج يعتمد على نقطة تجمد الماء وافترضها على أنها تساوي 32^oF ونقطة الغليان 212^oF. والعلاقة بين التدريج السيليزي والفهرنهايتي هي

$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32^o F \qquad (19.2)$$

من الممكن استخدام المعادلة 1.19 والمعادلة 2.19 لإيجاد العلاقة بين التغيرات في درجة الحرارة على التدريج السيليزي والمطلق والفهرنهايتي:





$$\Delta T_C = \Delta T = \tfrac{9}{5}\Delta F \qquad (19.3)$$

من بين كل هذه التدريجات التي تحدثنا عنها من قبل، تدريج كلفن هو الوحيد الذي يعتمد على قيمة فعلية لدرجة الحرارة صفر. أما التدريج السيليزي والفهرنهايتي يعتمدان على قيمة اختيارية للصفر ترتبط بمادة معينة هي الماء والموجود فقط على الأرض. لهذا، إذا قابلت معادلة تتضمن درجة الحرارة T فيها أو تتضمن النسبة بين درجات الحرارة، فانه عليك أن تحول كل درجات الحرارة إلى تدريج كلفن. وإذا كانت المعادلة تتضمن التغير في درجة الحرارة ΔT، فان استخدام التدريج السيليزي سوف يعطيك نتيجة صحيحة، كما هو موضح في المعادلة 3.19، ولكن من الأفضل أن تقوم بتحويل درجة الحرارة إلى تدريج كلفن على كل الأحوال.

سؤال للتفكير 2.19

افترض الأزواج التالية من المواد. أي من هذه الأزواج يمثل مادتين، واحدة درجة حرارتها أكثر بمرتين من الأخرى؟ (a) ماء يغلي عند 100^oC، وكوب من الزجاج به ماء عند 50^oC (b) ماء يغلي عند 100^oC، وكحول الميثان متجمد عن درجة حرارة -50^oC (c) قطعة مكعبة من الثلج عند درجة حرارة -20^oC، ولهب عند درجة حرارة 233^oC (d) لا يوجد أي زوج من المواد درجة حرارته ضعف درجة حرارة الأخر.





مثال 1.19 تحويل درجات الحرارة

في احد الأيام عندما وصلت درجة الحرارة إلى 50^oF، ما مقدار درجة الحرارة على التدريج السيليزي وتدريج كلفن؟

الحل: بالتعويض في المعادلة 2.19، نحصل على

$$T_C = \tfrac{5}{9}(T_F - 32) = \tfrac{5}{9}(50-32)$$
$$= 10^o C$$

من المعادلة 1.19، نحصل على

$$T = T_C + 273.15 = 10^o C + 237.15$$
$$= 283K$$

مثال 2.19 تسخين وعاء به ماء

وعاء به ماء سخن من درجة حرارة 25^oC إلى 80^oC، ما هو مقدار التغير في درجة الحرارة على تدريج كلفن وعلى التدريج الفاهرنهيتي؟

الحل: من المعادلة 3.19، نرى إن التغير في درجات الحرارة على التدريج السيليزي يساوي التغير في درجات الحرارة على تدريج كلفن وعليه

$$\Delta T = \Delta T_C = 80^o C - 25^o C = 55^o C = 55K$$

من المعادلة 3.19، نحصل على

$$\Delta T_F = \tfrac{5}{9}\Delta T_C = \tfrac{5}{9}(55^o C) = 99^o F$$



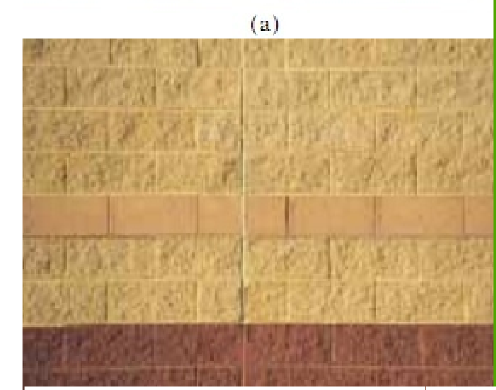
د. حازم فلاح سكيك
www.trgma.com



4.19 التمدد الحراري للمواد السائلة والصلبة Thermal Expansion of Solids and Liquids

عندما تحدثنا عن الترمومتر الزئبقي كأحد أنواع ترمومترات السوائل اعتمدنا على خاصية هامة للمادة وهي أن كلما ارتفعت درجة الحرارة المادة كلما زاد حجمها. هذه الظاهرة، تعرف باسم التمدد الحراري thermal expansion، وهي لها أهمية كبيرة في التطبيقات الهندسية. على سبيل المثال، التمدد الحراري للتوصيلات كما هو موضح في الشكل 7.19، داخل المباني، والطرق، وسكك الحديد، والجدار الحجري، والكباري يجب أن يراعى التغير في الأبعاد نتيجة التمدد الحراري الناتج عن تغير درجات الحرارة.

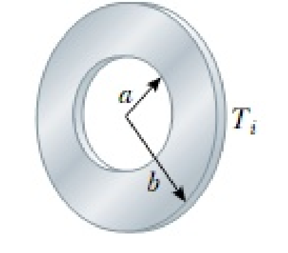
التمدد الحراري هو نتيجة للتغير في متوسط المسافات الفاصلة بين الذرات في المادة. ولتوضيح هذا الأمر، تخيل إن الذرات متصلة مع بعضها البعض بواسطة زنبرك قاسي، كما شرحنا في الجزء 3.15 وموضحة في الشكل b12.15. عند درجات الحرارة العادية، تتذبذب الذرات حول مواضع اتزانها في المادة بسعة اهتزاز تصل إلى 10^{-11}m وترددها في حدود 10^{13}Hz. والمسافة المتوسطة بين الذرات حوالي 10^{-10}m. وبزيادة درجة حرارة المادة تزداد حركة تذبذب الذرات وتزداد سعتها، ونتيجة لذلك يزداد متوسط المسافة الفاصلة بينها. ولهذا السبب تتمدد المادة.

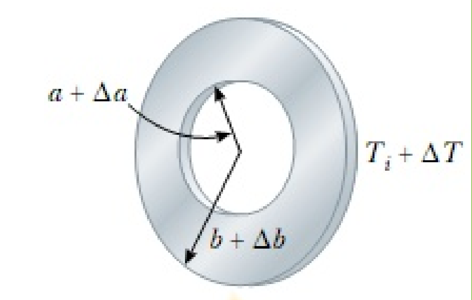


الشكل 7.19



د. حازم فلاح سكيك
www.trgma.com







الشكل 8.19 التمدد الحراري متجانس في الحلقة المعدنية. عند زيادة درجة الحرارة فان كل أبعاد الحلقة تزداد.

إذا كان التمدد الحراري صغير بالنسبة لأبعاد الجسم، فان التغير في أبعاد الجسم يتناسب طرديا مع التغير في درجة الحرارة. افترض أن الجسم له طول L_i عند درجة حرارة ما وان هذا الطول زاد بمقدار ΔL عندما تغيرت درجة الحرارة بمقدار ΔT. ولأنه من المناسب أن نتعامل مع التغير الجزئي في الطول لكل تغير في درجة الحرارة بمقدار درجة واحدة، فإننا سوف نعرف متوسط معامل التمدد الطولي average coefficient of linear expansion على انه

$$\alpha \equiv \frac{\Delta L / L_i}{\Delta T}$$

التجارب العملية أثبتت إن α مقدار ثابت عند التغيرات الصغيرة في درجات الحرارة. ولأجل الحسابات فان المعادلة السابقة سوف نكتبها بالطريقة التالية:

$$\Delta L = \alpha L_i \Delta T \qquad (19.4)$$

أو بالصورة التالية

$$L_f - L_i = \alpha L_i (T_f - T_i) \qquad (19.5)$$





حيث L_f هو الطول النهائي، وT_i وT_f هما درجة الحرارة الابتدائية ودرجة الحرارة النهائية، وثابت التناسب α هو متوسط معامل التمدد الطولي لأي مادة وله وحدة $(^oC)^{-1}$.

لتستطيع أن تتصور التمدد الحراري تخيل انك تقوم بتكبير صورة فوتوغرافية. على سبيل المثال لو سخنا حلقة معدنية كما في الشكل 8.19، فكل أبعادها بما في ذلك أنصاف أقطار الحلقة سوف تزداد حسب المعادلة 4.19. لاحظ إن هذا يكافئ قولنا إن تجويف مادة يزداد بنفس الطريقة إذا ما قمنا بملء التجويف بمادة ما.

الجدول 1.19 يوضح قائمة بمتوسط معامل التمدد الطولي لبعض المواد. لاحظ أن α موجبة، وهذا يدل على إن هناك زيادة في الطول مع زيادة درجة الحرارة. وهذا ليس هو الحال دائما. فبعض المواد مثل الكالسايت $CaCO_3$ يتمدد في بعد واحد (α موجبة) وينكمش في البعد الأخر(α سالبة) مع زيادة درجات الحرارة.





جدول 1.19 متوسط معامل التمدد لبعض المواد عند درجة حرارة الغرفة

المادة	معامل التمدد الطولي $(\alpha)\ (^{o}C)^{-1}$	المادة	معامل التمدد الحجمي $(\beta)\ (^{o}C)^{-1}$
الكحول	$1.12x10^{-4}$	الألومنيوم	$24x10^{-6}$
البنزين	$1.24x10^{-4}$	البرونز	$19x10^{-6}$
الأستون	$1.5x10^{-4}$	النحاس	$17x10^{-6}$
الجلسرين	$4.85x10^{-4}$	الزجاج العادي	$9x10^{-6}$
الزئبق	$9.0x10^{-4}$	زجاج البيركس	$3.2x10^{-6}$
التربنتينا	$9.6x10^{-4}$	رصاص	$29x10^{-6}$
الجازولين	$3.67x10^{-4}$	حديد	$11x10^{-6}$
الهواء عند 0oC	$3.665x10^{-4}$	سبيكة حديد ونيكل	$0.9x10^{-6}$
الهليوم	$1.12x10^{-4}$	كونكريت	$12x10^{-6}$

لان الأبعاد الخطية للجسم تتغير مع درجة الحرارة، فان مساحة السطح والحجم يتغيران كذلك. التغير في الحجم يتناسب طرديا مع الحجم الأصلي V_i والتغير في درجة الحرارة طبقا للمعادلة التالية:





$$\Delta V = \beta V_i \Delta T \qquad (19.6)$$

حيث β هي متوسط معامل التمدد الحجمي average coefficient of volume expansion. وللجسم الصلب، فان متوسط معامل التمدد الحجمي اكبر بـــ 3 مرات متوسط معامل التمدد الطولي: أي أن β=3α (هذا يفترض أن متوسط معامل التمدد الطولي يكون متساويا في جميع الاتجاهات- وهذا يعني إن المادة متماثلة.)

وللتحقق من إن β=3α للجسم الصلب، افترض أن مكعب من مادة صلبة أبعادها l، و w، و h. فإذا كان الحجم الأصلي عند درجة حرارة T_i هو $V_i=lwh$. إذا تغيرت درجة الحرارة إلى $T_i+\Delta T$، فإن الحجم يتغير إلى $V_i+\Delta V$، حيث أن كل بعد من أبعاد الجسم يتغير حسب المعادلة 4.19. وعليه يكون

$$\begin{aligned}
V_i + \Delta V &= (l + \Delta l)(w + \Delta w)(h + \Delta h) \\
&= (l + \alpha l \Delta T)(w + \alpha w \Delta T)(h + \alpha h \Delta T) \\
&= lwh\,(1 + \alpha \Delta T)^3 \\
&= V_i[1 + 3\alpha \Delta T + 3(\alpha \Delta T)^2 + (\alpha \Delta T)^3
\end{aligned}$$





اذا قمنا بقسمة طرفي المعادلة على Vi وعزلنا الحد $\Delta V/V_i$، سوف نحصل على التغير الجزئي في الحجم:

$$\frac{\Delta V}{V_i} = 3\alpha\Delta T + 3(\alpha\Delta T)^2 + (\alpha\Delta T)^3$$

لان $\alpha\Delta T<<1$ لقيم عادية للتغيرات في درجة الحرارة ($< \sim 100^oC$)، من الممكن أن نهمل الحدود $3(\alpha\Delta T)^2$ و $(\alpha\Delta T)^3$ من المعادلة. وبإجراء هذا التقريب نحصل على

$$\frac{\Delta V}{V_i} = 3\alpha\Delta T$$

$$3\alpha = \frac{1}{V_i}\frac{\Delta V}{\Delta T}$$

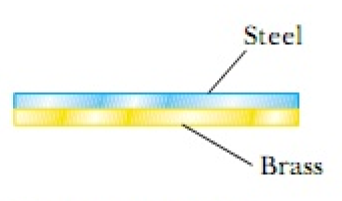
من المعادلة (6.19) نلاحظ إن الطرف الأيمن للمعادلة أعلاه يساوي β، وبهذا يكون لدينا $3\alpha=\beta$، وهي العلاقة التي نريد أن نثبتها. وبنفس الطريقة، يمكن أن نثبت أيضا إن التغير في المساحة لسطح مستطيل يعطى بالعلاقة $\Delta A=2\alpha A_i\Delta T$.

كما يوضح الجدول 1.19، كل مادة لها متوسط معامل تمدد خاص بها. على سبيل المثال، عندما ترتفع درجة حرارة ساق من النحاس وساق من الحديد لهما نفس الطول بنفس المقدار، فان ساق النحاس يتمدد أكثر من ساق الحديد لان





النحاس له متوسط معامل تمدد طولي اكبر من الحديد. وهذه الخاصية يستفاد منها في عمل شريحة ذات معدنين bimetallic strip والمستخدمة في المنظم الحراري thermostats. حيث يتركب المنظم الحراري من شريحتين رقيقتين من معدنين متشابهين وملتصقين ببعضهما البعض بإحكام. فإذا ما ارتفعت درجة حرارة الشريحتين، فان المعدنين يتمددا بمقدارين مختلفين مما يجعل الشريحة تنحني، كما هو موضح في الشكل 9.19.

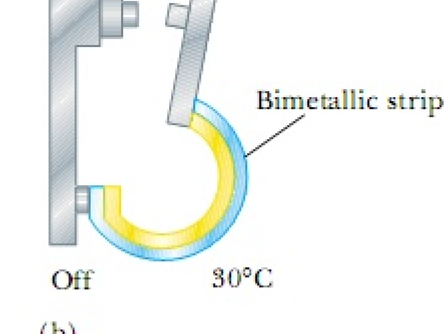






(a)





(b)

الشكل 9.19 يوضح (a) شريحة ذات معدنين تنحني عندما تتغير درجة الحرارة نتيجة لاختلاف معامل التمدد لهما. (b) شريحة ذات معدنين تستخدم في المنظم الحراري لفتح الدائرة الكهربية أو إغلاقها.

سؤال للتفكير 3.19

إذا طلب منك أن تصنع تيرمومتر حساس جدا من الزجاج، فأي من السوائل التالية سوف تختار؟ (a) الزئبق (b) الكحول (c) الجازولين (d) الجلسرين.

سؤال للتفكير 4.19

كرتين مصنوعتين من نفس المعدن ولهما نفس نصف القطر، ولكن واحدة مجوفة والأخرى مصمتة. كلا الكرتين تعرضتا إلى نفس الارتفاع في درجة الحرارة. أي الكرتين تتمدد أكثر؟ (a) الكرة المصمتة (b) الكرة المجوفة (c) كلا الكرتين يتمددا بنفس المقدار. (d) لا تتوفر معلومات كافية للإجابة.





مثال 3.19 تمدد قضبان السكك الحديدية

قطعة من سكة حديد طولها 30.000m عندما كانت درجة الحرارة 0.0^oC. (A) ما هو طولها عندما تكون درجة الحرارة 40.0^oC؟ (B) افترض إن نهايتي القطعة مثبتتين بقوة عند درجة الحرارة 0.0^oC بهدف منع التمدد. ما هو مقدار الإجهاد الحراري الذي تتعرض له قطعة الحديد عندما ترتفع درجة الحرارة إلى 40^oC؟

الحل: (A) بالاستفادة من المعلومات الواردة في الجدول 1.19 وبملاحظة أن التغير في درجة الحرارة 40^oC، يمكن إيجاد الزيادة في الطول

$$\Delta L = \alpha L_i \Delta T = \left[11\times10^{-6}(^oC)^{-1}\right](30.000\,m)(40.0^oC) = 0.013\,m$$

إذا كان طول السكة الحديدية 30.000m عند درجة حرارة 0^oC فان طولها سيصبح عند درجة حرارة 40.0^oC هو 30.013m.

(B) الإجهاد الحراري هو نفس الحالة عندما نسلط قوة ميكانيكية F على السكة الحديدية لتضغطها للخلف لطولها الأصلي. من تعريف معامل ينج Young's modulus للأجسام الصلبة (انظر المعادلة 6.12)، والتي هي

$$Tensile\ \ stress = \frac{F}{A} = Y\frac{\Delta L}{L_i}$$

ولان Y للحديد تساوي $20\text{x}10^{10}N/m^2$ (انظر الجدول 1.12)، نحصل على

$$\frac{F}{A} = (20\times10^{10}\,N/m^2)\left(\frac{0.013m}{30.000m}\right) = 8.7\times10^7\,N/m^2$$



د. حازم فلاح سكيك
www.trgma.com



ماذا لو؟ ماذا يحدث إذا انخفضت درجة الحرارة لـــ $-40^{o}C$؟ ماذا سيكون طول القطعة الحديدية الغير مثبتة؟

المعادلة 4.19 للتغير في الطول هي نفسها سواء كانت درجة الحرارة تزداد أو تنخفض. وعليه، إذا كانت الزيادة في الطول 0.013m عندما ارتفعت درجة الحرارة $40^{o}C$، فان الطول سيقل بمقدار 0.013m عندما تنخفض درجة الحرارة بمقدار $40^{o}C$. (بافتراض إن معامل التمدد الطولي α ثابتا على مدى كبير من التغيرات في درجة الحرارة). وبالتالي فان الطول الجديد عند درجة الحرارة الباردة هو

$$30.000m - 0.013m = 29.987m$$

مثال 4.19 الفاصل الحراري للكهرباء

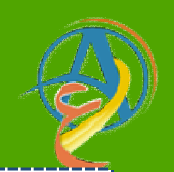
جهاز كهربائي صمم بطريقة رديئة بحيث يكون هناك صمولتين متصلتين بأجزاء مختلفة من الجهاز وتقريبا تلمسان بعضهما البعض من الداخل، كما هو موضح في الشكل 10.19. صمولتي الحديد والنحاس عند فرق جهد كهربي مختلف وإذا ما تلامسا، يحدث دائرة مغلقة، تحرق الجهاز. (سوف ندرس الجهد الكهربي في الجزء 25). إذا كانت الفجوة بين نهايتي الصمولتين تساوي 5.0μm؟ عندما كانت درجة الحرارة $27^{o}C$، ما هي درجة الحرارة التي سوف تجعل الصمولتين تتلامسان؟

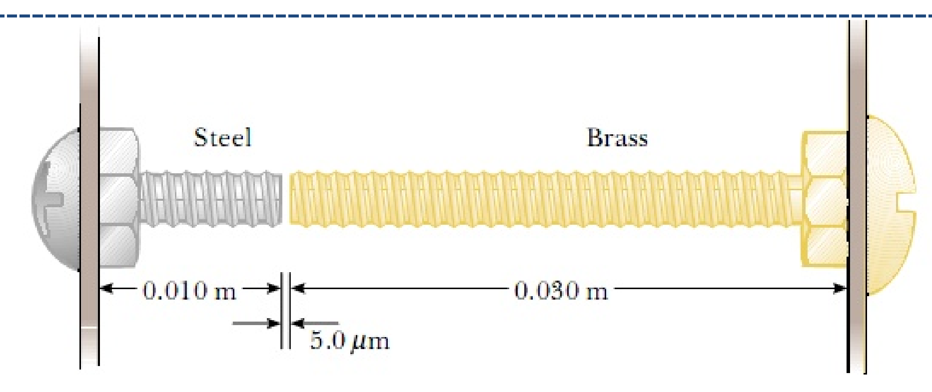
الحل: لتخيل هذه المسألة دعنا نفترض أن الصمولتين تتمددان باتجاه الفجوة بينهما كلما ارتفعت درجة الحرارة. وسوف نتعامل مع هذه المسألة على إنها تطبيق على التمدد الحراري، حيث أن مجموع التغيرات في الطول لكلا الصمولتين يجب أن يساوي الطول الأصلي بين للفجوة بينهما. وسنقوم بكتابة هذا الشرط في صيغة معادلة رياضية على النحو التالي:

$$\Delta L_{br} + \Delta L_{st} = \alpha_{br} L_{i,br} \Delta T + \alpha_{st} L_{i,st} \Delta T = 5.0 \times 10^{-6} m$$

وبحل المعادلة بالنسبة ΔT، نجد أن







الشكل 10.19 صمولتين مختلفتين متصلتين في جهاز كهربي بالكاد يتلامسا عند درجة حرارة 27°C، بزيادة درجة الحرارة فان طرفي الصمولتين يتحركا في اتجاه بعضهما البعض.

$$\Delta T = \frac{5.0\times10^{-6}\,m}{\alpha_{br}L_{i,br} + \alpha_{st}L_{i,st}}$$

$$= \frac{5.0\times10^{-6}\,m}{(19\times10^{-6o}\,C^{-1})(0.030m) + (11\times10^{-6o}\,C^{-1})(0.010m)}$$

$$= 7.4^{o}C$$

وعليه، فان درجة الحرارة التي عندها سوف تتلامس الصمولتين هي

$$27^{o}C + 7.4^{o}C = 34^{o}C$$



د. حازم فلاح سكيك
www.trgma.com



السلوك الشاذ للماء The Unusual Behavior of Water

عادة تزداد حجم السوائل بارتفاع درجة الحرارة ولها معامل تمدد حجمي اكبر بحوالي عشر مرات معامل التمدد الحجمي للمواد الصلبة. الماء البارد يمتلك قاعدة خاصة به تختلف عن باقي السوائل، كما نرى من منحنى تغير الكثافة مع درجة الحرارة في الشكل 11.19. عندما تزداد درجة الحرارة من 0^oC إلى 4^oC، ينكمش الماء وتزداد كثافته. أعلى من 4^oC يتمدد الماء بزيادة درجة الحرارة، وتقل كثافته بناءً على ذلك. ولهذا تصل كثافة الماء اعلي قيمة لها $1.000g/cm^3$ عند درجة حرارة 4^oC.

من الممكن استخدام هذه الخاصية الغير عادية (الشاذة) لسلوك الماء لشرح سبب تجمد الماء بدء في أي وعاء من السطح وليس من القاع. عندما يبرد الجو وتنخفض درجة الحرارة، ولنقل على سبيل المثال من 7^oC إلى 6^oC، فان سطح الماء يبرد أيضا ونتيجة لذلك فان حجمه يقل. وهذا يعني أن سطح الماء يصبح أكثر كثافة من الماء أسفل السطح، والذي لم يبرد بعد ولم يقل حجمه. ونتيجة لذلك، تغوص طبقة الماء إلى الأسفل تاركة طبقة جديدة من الماء الدفء لتظهر إلى السطح وتبرد بنفس الطريقة. ولكن عندما تكون درجة الحرارة بين 4^oC و 0^oC، فان سطح الماء يتمدد بالتبريد، ليصبح اقل كثافة من الماء أسفل منه. وهنا عملية الخلط تتوقف ويتجمد سطح الماء. وبتجمده، يبقى الثلج على السطح لان الثلج اقل كثافة من الماء. ويستمر الثلج بالنمو على السطح، في حين أن الماء بالقرب من البقاء



د. حازم فلاح سكيك
www.trgma.com



يبقى عند $4^{o}C$. وإذا كان للماء سلوك مختلف لماتت كل الكائنات الحية في البحار والمحيطات ولم توجد أي حياة فيه (سبحان الله).

الشكل 11.19 يوضح التغير في كثافة الماء عند الضغط الجوي مع درجة الحرارة. والتوضيح على يمين الشكل يبين أعلى كثافة يصل لها الماء عند درجة حرارة $4^{o}C$.



د. حازم فلاح سكيك
www.trgma.com



5.19 الوصف الجاهري للغاز المثالي Macroscopic Description of an Ideal Gas

معادلة التمدد الحجمي $\Delta V = \beta V_i \Delta T$ مؤسسة على افتراض إن المادة لها حجم ابتدائي V_i قبل أن تتغير درجة الحرارة. هذه هي الحالة التي تكون للجوامد والسوائل لان كليهما له حجم ثابت عند درجة حرارة معينة.

أما بالنسبة للغازات فإن الحالة مختلفة تماماً. القوى المتبادلة بين الذرات في الغازات ضعيفة جدا، وفي كثير من الحالات، يمكن أن نتصور إن هذه القوى غير موجودة ونهملها وسنحصل على تقريب جيد للحالة التي ندرسها. لاحظ انه لا يوجد مواقع اتزان محددة لذرات الغاز ولهذا لا يوجد حجم محدد عند أي درجة حرارة. ونتيجة لذلك، لا نستطيع أن نعبر عن التغير في الحجم ΔV باستخدام المعادلة 6.19 لان في هذه الحالة لا يوجد للغاز حجم ابتدائي V_i. وفي حالة الغازات فان الحجم يعتمد على حجم الوعاء الذي يحتويه. ولهذا فان معادلات الغازات سوف تتضمن الحجم V كمتغير، بدلا من التركيز على التغير في الحجم من حالة ابتدائية.

من المفيد عند التعامل مع الغاز أن نعرف كيف نربط الحجم V، والضغط P، ودرجة الحرارة T مع بعض لغاز بسيط كتلته m. وبصفة عامة فان المعادلة التي تربط الكميات الفيزيائية السابقة تعرف باسك معادلة الحالة equation of state، وهي عادة تكون معادلة معقدة جداً. على أي حال إذا كان الغاز عند ضغط منخفض (أو غاز ذو كثافة قليلة)،





فان معادلة الحالة التي تصف هذا الغاز تكون بسيطة ويمكن أن نستنتجها عملياً. هذا الغاز ذو الكثافة القليلة يعرف باسم الغاز المثالي ideal gas.

من المناسب ان نعبر عن مقدار الغاز لمادة ما في حجم محدد بعدد المولات n. حيث إن المول الواحد لأي مادة هو الذي مقدار المادة التي تحتوي على عدد افوجادرو Avogadro's number والذي يكون $N_A=6.022x10^{23}$ من الجسميات (ذرات أو جزئيات). عدد المولات n لأي مادة يرتبط بكتلتها m من خلال المعادلة

$$n = \frac{m}{M} \qquad (19.7)$$

حيث M هي الكتلة المولية molar mass للمادة. والكتلة المولية لأي عنصر كيميائي هي الكتلة الذرية (موضحة في الجدول الدوري بوحدة g/mol). على سبيل المثال، كتلة ذرة هليوم هي 4.00u حيث u هي وحدة الكتلة الذرية atomic mass unit، وتكون الكتلة المولية للهليوم هي 4.00g/mol. ولمادة مكونة من مجموعة من الجزئيات أو لمركب كيميائي، فإننا سنقوم بجمع الكتلة المولية لكل مكوناته. الكتلة المولية لجزئ الأكسجين هو 32.0g/mol.

افترض الآن غاز مثالي موجود في اسطوانة حجمها متغير عن طريق استخدام مكبس متحرك، كما في الشكل 12.19. إذا افترضنا انه لا يوجد أي تسرب للغاز من الاسطوانة. فان الكتلة (أو عدد المولات) للغاز تبقى ثابتة. وقد بينت التجارب على هذا النظام مجموعة من الملاحظات. الملاحظة الأولى، عند ثبوت درجة الحرارة فان ضغط الغاز في





المكبس يتناسب عكسيا مع حجمه (قانون بويل Boyle's law). الملاحظة الثانية، عند ثبوت الضغط فان حجم الغاز يتناسب طرديا مع درجة حرارته (قانون تشارلز Charles law). هذه الملاحظات يمكن أن نعبر عنها في معادلة الحالة للغاز المثالي على النحو التالي:

$$PV = nRT \qquad (19.8)$$

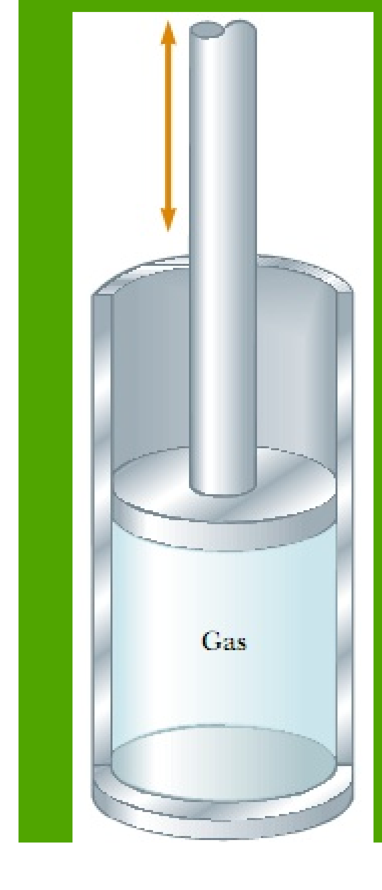
هذه المعادلة تعرف بقانون الغاز المثالي ideal gas law، حيث R ثابت و n عدد المولات للغاز. التجارب التي أجريت على العديد من الغازات بينت انه كلما قل الضغط أكثر فأكثر فان الكمية PV/nT تؤول إلى قيمة ثابتة لجميع أنواع الغازات وهذه القيمة هي R. ولهذا السبب فان R تعرف بالثابت العام للغازات universal gas constant. في نظام الوحدات العالمي SI، يكون الضغط بوحدة الباسكال pascal $(1pa = 1\ N/m^2)$ والحجم بوحدة المتر المكعب، وحاصل ضرب PV بوحدة N.m أو بوحدة الجول وقيمة الثابت R هو

$$R = 8.314\ J/mol\ .\ K \qquad (19.9)$$

وإذا كان الضغط بوحدة الضغط الجوي والحجم بوحدة اللتر $(1\ L = 10^3\ cm^3 = 10^{-3}\ m^3)$، فان R تكون على النحو التالي

$$R = 0.082\ 14\ L\ .\ atm/mol\ .\ K$$





الشكل 12.19 غاز مثالي محصور في اسطوانة ذات مكبس لتغير حجم الغاز

باستخدام قيمة R والمعادلة 8.19، نجد إن الحجم الذي يشغله مول واحد من أي غاز عند الضغط الجوي وعند درجة حرارة 0^oC (273K) هو 22.4L.

ينص قانون الغاز المثالي على انه إذا كان كلا من حجم ودرجة الحرارة مقدار ثابت من الغاز لا يتغيران، فان الضغط يبقى ثابتاً أيضا.

من الأخطاء الشائعة إن الضغط المحصور في علبة يزداد عندما نهز العلبة بقوة. وفيزيائيا لان درجة حرارة العلبة ومحتوياتها تبقى ثابتة طالما بقيت العلبة مغلقة بإحكام، فإن الضغط يبقى ثابتاً أيضا. التفسير والتوضيح الصحيح لهذه الفكرة هو إن غاز ثاني أكسيد الكربون يوجد في حيز بين السائل وأعلى العلبة. وعند هز العلبة بقوة فان جزئيات غاز ثاني أكسيد الكربون تتحرك داخل السائل، حيث تتكون فقاعات، وهذه الفقاعات تلتصق بالجدار الداخلي للعلبة، (أي انه لم يوجد غاز جديد استحدث داخل العلبة عند هزها) وعند فتح العلبة، ينخفض الضغط وهذا تسبب في زيادة مفاجأة لحجم الفقاعات. ونتيجة لذلك يحدث تمدد سريع للسائل ويخرج من العلبة. أما في حالة التخلص من هذه الفقاعات قبل فتح العلبة كان يتم الطرق على أسفل العلبة وعلى جوانبها بطرقات خفيفة فانه عند فتح العلبة لن يحدث تدفق للسائل لاختفاء الفقاعات في العلبة.



د. حازم فلاح سكيك
www.trgma.com



في الغالب يعبر عن قانون الغاز المثالي بدلالة العدد الكلي للجزيئات N. لان العدد الكلي للجزيئات يساوي حاصل ضرب عدد المولات n في عدد افوجادرو N_A، فانه يمكن كتابة المعادلة 8.19 على النحو التالي:

$$PV = nRT = \frac{N}{N_A} RT$$

$$PV = Nk_B T \qquad (19.10)$$

حيث k_B يعرف باسم ثابت بولتزمان Boltzmann’s constant، وله القيمة التالية:

$$k_B = \frac{R}{N_A} = 1.38 \times 10^{-23}\ J/K \qquad (19.11)$$

من الشائع أن نستخدم مصطلح المتغيرات الثيرموديناميكة للكميات الفيزيائية P، V، و T للغاز المثالي. إذا كانت معادلة الحالة معروفة، فان واحد من هذه المتغيرات يمكن أن يكون دالة في المتغيرين الآخرين.





سؤال للتفكير 5.19

تستخدم مواد خاصة تحيط بالبضائع المعدة للنقل لحمايتها من الكسر وهذه المواد تصنع عن طريق حجز فقاعات هوائية في كيس بلاستيكي يستخدم للتغليف. هذه المواد تكون أكثر كفاءة في حماية البضائع التي تنقل من مكان لأخر عندما (a) يكون الجو حار (b) عندما يكون الجو بارد (c) لا فرق إن كان الجو حار او بارد.

سؤال للتفكير 6.19

بالون به غاز هيلوم ترك في سيارة في ليلة باردة من ليالي فصل الشتاء. قارن حجم البالون عندما كان في يوم دافئ. هل سيكون الحجم (a) اكبر، (b) اصغر، (c) لا يتغير.

سؤال للتفكير 7.19

في يوم شتاء، أشعلت المدفئة فارتفعت درجة حرارة الهواء في المنزل. افترض إن مقدار التسريب في المنزل بين الهواء في الداخل والهواء في الخارج بمعدل طبيعي، يكون عدد مولات الهواء في المنزل بعد ارتفاع درجة حرارة المنزل (a) أعلى من قبل (b) اقل من قبل (c) نفس العدد.



د. حازم فلاح سكيك
www.trgma.com



مثال 5.19 كم عدد المولات في وعاء الغاز

غاز مثالي محصور في حجم $100cm^3$ عند درجة حرارة 20^oC وضغط 100Pa. اوجد عدد المولات في الغاز في الوعاء الموجود فيه.

الحل: المعطيات المتوفرة في السؤال هي الحجم والضغط ودرجة الحرارة والتي لها القيم التالية:

$$V=100cm^3 = 1.00x10^{-4}m^3,\ P=100Pa,\ T=20^oC=293K$$

باستخدام المعادلة 8.19، نحصل على

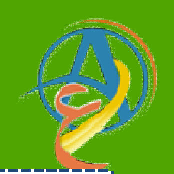
$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{(100\ Pa)(1.00 \times 10^{-4}\ m^3)}{(8.314\ J / mol.K)(293\ K)}$$
$$= 4.11 \times 10^{-6}\ mol$$

مثال 6.19 كم عدد المولات في وعاء الغاز

صممت اسطوانة غوص تحت الماء بحيث تخزن هواء بحجم $66.0ft^3$ عندما تكون في الضغط الجوي ودرجة حرارة 22^oC. عندما ينضغط الهواء لـــ $3000\ lb/in.^2$ ويخزن اسطوانة سعتها 10.0L أي ($0.350\ ft^3$)، فان الهواء يصبح ساخن جدا ولهذا يجب أن يسمح للاسطوانة أن تبرد قبل الاستخدام. قبل أن يبرد الهواء، ما هي درجة حرارته؟ (افترض أن الهواء يتصرف كغاز مثالي).



د. حازم فلاح سكيك
www.trgma.com



الحل: إذا لم يتسرب الهواء أثناء ضغطه، فان عدد المولات n للهواء تبقى ثابتة، ولهذا نستخدم PV =nRT، حيث n و R ثوابت، نحصل على علاقة بين القيم الابتدائية والنهائية على النحو التالي:

$$\frac{P_i V_i}{T_i} = \frac{P_f V_f}{T_f}$$

الضغط الابتدائي للهواء هو $14.7\ lb/in.^2$، والضغط النهائي $3000\ lb/in.^2$، والهواء ينضغط من حجم ابتدائي $66.0 ft^3$ إلى حجم نهائي $0.350 ft^3$. ودرجة الحرارة بمقياس كلفن هي 295 K. وبالتعويض في العلاقة السابقة يمكن أن نجد قيمة درجة الحرارة النهائية.

$$T_f = \left(\frac{P_f V_f}{P_i V_i}\right) T_i = \frac{(3000\ lb/in^2)(0.350\ ft^3)}{(14.7\ lb/in^2)(66.0\ ft^3)}(295\ K)$$
$$= 319\ K$$



د. حازم فلاح سكيك
www.trgma.com



مثال 7.19 تسخين علبة رش

علبة رش تحتوي على غاز البروبان بضغط يعادل مرتين الضغط الجوي (202kPa). وحجمه $125.00 cm^3$ عند درجة حرارة 22^oC. تم تسخين العلبة في نار مشتعلة. عندما وصلت درجة حرارة الغاز إلى 195^oC، ما هو قيمة الضغط داخل العلبة؟ افترض إن أي تغير في حجم العلبة مهمل.

الحل: سوف نستخدم نفس الطريقة التي استخدمت في حل المثال 6.19، بالبدء بالمعادلة التالية:

$$\frac{P_i V_i}{T_i} = \frac{P_f V_f}{T_f} \qquad (1)$$

ولان الحجم الابتدائي والحجم النهائي للغاز لا يتغير فإننا نختصر المعادلة (1) إلى

$$\frac{P_i}{T_i} = \frac{P_f}{T_f}$$

بحل المعادلة بالنسبة لـــ P_f نحصل على

$$P_f = \left(\frac{T_f}{T_i}\right) P_i = \left(\frac{468\ K}{295\ K}\right)(202\ kPa) = 320\ kPa \qquad (2)$$

لاحظ انه بزيادة درجة الحرارة، يزداد الضغط للغاز المحصور. وإذا ازداد الضغط كثيرا فمن المحتمل أن تنفجر العلبة. ولهذه الاحتمالية فانه من الضروري آلا نلقي علب الغاز في النار.





ماذا لو؟ افترض إننا لم نتجاهل التغير في الحجم نتيجة للتمدد الحراري للوعاء المعدني عند زيادة درجة الحرارة. هل هذا سوف يغير إجابتنا السابقة للضغط النهائي؟

لان معامل التمدد الحراري للحديد صغير جدا، فإننا لا نتوقع تأثير كبير على النتيجة التي حصلنا عليها. التغير في الحجم ممكن إيجاده من المعادلة 6.19 وقيمة معامل التمدد الطولي للحديد α يمكن الحصول عليها من الجدول 1.19

$$\Delta V = \beta V_i \Delta T = 3\alpha V_i \Delta T$$
$$= (11 \times 10^{-6\,o} C^{-1})125.00\,cm^3)(173\,^oC)$$
$$= 0.71\,cm^3$$

إذا الحجم النهائي للعلبة سيكون $125.71 cm^3$، وبالعودة للمعادلة رقم (1) فان الضغط النهائي سيكون

$$P_f = \left(\frac{T_f}{T_i}\right)\left(\frac{V_f}{V_i}\right)P_i$$

والفرق هنا عن المعدلة (2) هو وجود النسبة بين الحجم الابتدائي والحجم النهائي v_i/v_f، والتي لها القيمة التالية:

$$\frac{V_f}{V_i} = \frac{125.00\,cm^3}{125.71\,cm^3} = 0.994 = 99.4\%$$

وعليه، فان الضغط النهائي سوف يتغير بمقدار 0.6% فقط عن القيمة التي حصلنا عليها عندما أهملنا التغير في الحجم.

وسيكون الضغط النهائي في بدون إهمال التغير في الحجم هو 318kPa.





الخلاصـــــــــــــة

- ❖ يكون جسمان في حالة اتزان حراري مع بعضهما البعض إذا كانا لا يتبادلان الطاقة عندما يكونا في حالة اتصال حراري.
- ❖ القانون الصفري للديناميكا الحرارية يذكر انه إذا كان هناك جسم A وجسم B مفصولان وفي حالة اتزان حراري مع جسم ثالث C، فان كلا من الجسمان A و B في حالة اتزان حراري مع بعضهما البعض.
- ❖ درجة الحرارة هي خاصية تحدد اذا ما كان الجسم في حالة اتزان حراري مع الأجسام الأخرى. جسمان في حالة اتزان حراري مع بعضهما البعض يكونا لهما نفس درجة الحرارة.
- ❖ وحدة درجة الحرارة المطلقة على المقياس العالمي SI هي الكلفن kelvin، والتي تعرف على إنها 1/273.16 جزء من درجة حرارة النقطة الثلاثية للماء.
- ❖ عندما تتغير درجة حرارة جسم بمقدار ΔT، يتغير الطول بمقدار ΔL وهذا التغير في الطول يتناسب طرديا مع ΔT ومع الطول الأصلي L

$$\Delta L = \alpha L_i \Delta T$$





حيث ان الثابت α هو متوسط معامل التمدد الطولي. ومتوسط معامل التمدد الحجمي هو β للمواد الصلبة والذي يساوي تقريبا 3α.

❖ الغاز المثالي هو الذي يكون فيه PV/nT مقدار ثابت. والغاز المثالي يوصف بمعادلة الحالة

$$PV = nRT$$

حيث إن n تساوي عدد المولات في الغاز، و V الحجم، وR الثابت العام للغاز (8.314J/mol.K)، و T درجة الحرارة المطلقة. الغاز الحقيقي يتصرف تقريبا مثل الغاز المثالي إذا كانت كثافته منخفضة.





أسئلة للتفكير

(1) هل من الممكن أن يكون هناك جسمين في حالة اتزان حراري إذا لم يكونوا في حالة اتصال مع بعضهما البعض؟ اشرح ذلك.

(2) ألقيت قطعة من النحاس في دورق به ماء. إذا كانت درجة حرارة الماء تزداد، ماذا يحدث لدرجة حرارة النحاس.؟ تحت هذه الظروف هل الماء والنحاس في حالة اتزان حراري؟

(3) المطاط له متوسط معامل تمدد طولي سالب. ماذا يحدث لحجم قطعة من المطاط عندما تسخن قليلاً؟

(4) اشرح لماذا عمود الزئبق في الترمومتر ينخفض قليلا في البداية ثم بعد ذلك يرتفع عندما يوضع الترمومتر في حوض ماء ساخن؟

(5) لماذا يجب أن تستخدم حشوة الأسنان لها نفس معامل التمدد للأسنان؟ ماذا يحدث لو كان معامل التمدد لهما غير متساوي؟

(6) وضعت علامات على شريط حديدي لتشير إلى الطول عندما كانت درجة حرارة الغرفة 22oC. هل القياسات باستخدام الشريط الحديدي في يوم درجة حرارته 27oC تكون أطول، أو اقصر، أو مضبوطة؟ وضح إجابتك.

(7) حدد عدد الجرامات في المول من الغازات التالية: (a) الهيدروجين، (b) الهليوم، (c) أول أكسيد الكربون.





(8) ماذا يتوقع قانون الغاز المثالي لحجم غاز عندما يكون عند درجة حرارة الصفر المطلق؟ لماذا هذه التوقع غير صحيح؟

(9) بالون مطاطي منفوخ بالهواء غمر في حوض به نيتروجين سائل عند درجة حرارة 77K. أوصف ماذا يحدث للبالون، افترض أن البالون يبقى مرن عندما يوضع في درجة حرارة منخفضة.

(10) اسطوانتين متماثلتين عند نفس درجة الحرارة كل اسطوانة تحتوي على نفس الغاز وعلى نفس العدد من المولات من الغاز. إذا أصبح حجم الاسطوانة A اكبر بثلاث مرات حجم الاسطوانة B، ماذا تقول عن الضغط في كلا الاسطوانتين؟

(11) بعد أن تم طهي الطعام في وعاء ضغط، لماذا من المهم تبريد الوعاء بالماء البارد قبل فتح الغطاء؟

(12) في الساعات التي تستخدم البندول، إذا كان البندول مصنوع من النحاس. عندما ترتفع درجة الحرارة، هل يزداد الزمن الدوري للساعة، أم يقل، أم لا يتغير؟ اشرح إجابتك.

(13) إذا تم ملء مبرد السيارة إلى أقصى حد له بالماء عندما كان محرك السيارة بارداً. ماذا يحدث للماء عندما يعمل المحرك ويسخن الماء؟ ماذا تستخدم السيارات الحديثة لنظام التبريد لتمنع السائل المبرد من النقصان؟

(14) الغطاء المعدني لوعاء من الزجاج يمكن أن يفتح بسهولة إذا ما سكب عليه ماء ساخن. كيف يكون هذا؟





(15) حلقة معدنية وكرة معدنية كما في الشكل Q19.18 عند درجة حرارة الغرفة، الكرة بالكاد تستطيع أن تمر عبر الحلقة. بعد تسخين الكرة، فإنها لا يمكن أن تمر عبر هذه الحلقة. اشرح ذلك. ماذا لو؟ كانت سخنت الحلقة في حين تركت الكرة عند درجة حرارة الغرفة، هل يمكن للكرة أن تعبر من خلال الحلقة؟



Figure Q19.18



مسائل وتمارين

2.19 الترمومتر ومقياس درجة الحرارة السيليزي

3.19 ترمومتر الغاز ذو الحجم الثابت ومقياس الحرارة المطلق

(1) في ترمومتر الغاز ذو الحجم الثابت، كان الضغط 0.980atm عند درجة حرارة $20.0^{o}C$. (a) ما هي قيمة الضغط عند $45.0^{o}C$؟ (b) ما هي درجة الحرارة إذا كان الضغط يساوي 0.500atm؟

(2) سائل النيتروجين درجة غليانه $-195.81^{o}C$ عند الضغط الجوي. عبر عن هذه الدرجة (a) بمقياس فهرنهايت و(b) بمقياس كلفن.

Answer: (a) $-320^{o}F$ (b) 77.3K

(3) حول درجات الحرارة التالية بالمقياس السيليزي ومقياس كلفن: (a) درجة حرارة الإنسان الطبيعية، $98.6^{o}F$، (b) درجة الحرارة في يوم بارد $-5.00^{o}F$.

(4) فرق درجة الحرارة بين داخل محرك السيارة وخارجه هو $540^{o}C$. عبر عن الفرق في درجات الحرارة بـــ (a) مقياس فهرنهايت و(b) مقياس كلفن.

Answer: (a) $810^{o}F$ (b) 450K





(5) درجة انصهار الذهب هي 1064^oC، ودرجة غليانه 2660^oC، (a) عبر عن هاتين الدرجتين بمقياس كلفن، (b) احسب الفرق بين درجتي الحرارة على مقياس كلفن والمقياس السيليزي.

Answer: (a) 1337K, 2993K (b) 1596^oC=1596K

4.19 التمدد الحراري في المواد الصلبة والسائلة

استعن بالجدول 1.19 لحل هذه مسائل هذا القسم.

(6) خط تلفون من النحاس لا يوجد به أي قطع بين قطبين المسافة بينهما قطع بين قطبين المسافة بينهما 35m في احد أيام فصل الشتاء عندما كانت درجة الحرارة -20^oC. كم سوف يصبح طول السلك في يوم حار درجة حرارته 35^oC.

Answer: (a) 327cm

(7) تم تصميم قطعة من الكونكريت الإسمنتي لاستخدامها في احد الطرق السريعة بطول 25.0m عند درجة حرارة 10^oC. ما هو اقل مسافة فاصلة يجب على المهندسين أن يتركوها بين قطع الكونكريت إذا علمت إن درجة الحرارة ممكن أن ترتفع إلى 50^oC؟





(8) تم صناعة إطار نظارة شمسية من البلاستيك. عند درجة حرارة $20.0^{o}C$، الإطار يحتوي شكل دائري بنصف قطر 2.20cm. إلى أي درجة حرارة يمكن للإطار أن يسخن إذا كان نصف قطر العدسة 2.21cm التي سوف تثبت في الإطار. إذا علمت إن معامل التمدد الطولي لمادة البلاستيك هي $1.3x10^{-4}(^{o}C)^{-1}$.

Answer: $55.0^{o}C$

(9) عنصر أساسي في تركيب جهاز الليزر مصنوع من ساق من الزجاج طوله 30.0cm وقطره 1.50cm. إذا ارتفعت درجة حرارة الساق بمقدار $65.0^{o}C$، (a) ما هو مقدار الزيادة في طول الساق، (b) والزيادة في القطر، و(c) والزيادة في الحجم؟ افترض إن معامل التمدد الطولي للزجاج يساوي $9.00x10^{-6}(^{o}C)^{-1}$.

Answer: (a) 0.176mm (b) 8.78µm (c) $0.0930cm^{3}$

(10) حلقة من النحاس قطرها 10.00cm عند درجة حرارة $20.0^{o}C$ تم تسخينها لتدخل في ساق من الألومنيوم قطره 10.01cm عند درجة حرارة $20.0^{o}C$. افترض إن معامل التمدد الطولي ثابت، (a) ما هي درجة الحرارة اللازمة لفصلهما؟ هل هذا ممكن؟ (b) ماذا لو كان قطر ساق الألومنيوم 20.02cm.

Answer: (a) $-179^{o}C$ (وهذا ممكن) (b) $-376^{o}C$ (وهذا غير ممكن لأنه اقل من الصفر المطلق)





(11) عند درجة حرارة 20.0^oC حلقة من الألومنيوم قطرها الداخلي 5.0000cm وساق من النحاس قطره 5.050cm. (a) إذا تم تسخين الحلقة فقط، ما هي درجة الحرارة اللازمة لكي يمكن إدخال الحلقة في الساق؟ (b) ماذا لو إن كلاهما تم تسخينه ما هي درجة الحرارة اللازمة لكي يمكن سحب الحلقة من الساق؟ هل من الممكن أن تنجح هذه الطريقة؟

(12) تم صب جدار إسمنتي في يوم درجة حرارته 20.0^oC وفي مثل هذه الظروف لا يمكن تحريك طرفي الجدار. (a) ما هو مقدار الإجهاد على الاسمنت في يوم حار درجة حرارته 50.0^oC؟ (b) هل يتهشم الجدار الإسمنتي؟ اعتبر إن معامل ينج Young's modulus للاسمنت هو $7.00x10^9N/m^2$ وشدة الانضغاط هي $2.00x10^9N/m^2$.

(13) اسطوانة ألمونيوم مجوفة عمقها 20.0cm سعتها 2.000L عند درجة حرارة 20.0^oC. تم ملؤها بالكامل بزيت التربنتين ثم سخنت تدريجيا إلى درجة حرارة 80.0^oC. () كم مقدار زيت التربنتين سوف ينسكب من الاسطوانة؟ () إذا تم تبريد الاسطوانة إلى 20.0^oC، كم سوف ينخفض سطح زيت التربنتين في الاسطوانة.

Answer: (a) -99.4 cm^3 (b) 0.943 cm





(14) ساق من الحديد يتعرض لقوة سحب مقدارها 500N. إذا كانت مساحة مقطعه $2.00cm^2$؟ اوجد مقدار التغير في درجة الحرارة اللازمة لتعمل نفس تأثير قوة السحب على ساق الحديد. استخدم الجدول 1.12 والجدول 1.19.

Answer: (a) 1.14°C

5.19 الوصف الجوهري للغاز المثالي

(15) غاز في وعاء حجمه 8.00L عند درجة حرارة 20.0°C وضغط يساوي 9.00atm. (a) حدد عدد مولات الغاز في الوعاء. (b) كم عدد الجزيئات في الوعاء؟

(16) خزان حجمه $0.100m^3$ يحتوي على غاز الهليوم عند ضغط يساوي 150atm. كم عدد البالونات التي يمكن للخزان ملؤها إذا كان كل بالون بشكل كره قطرها 0.300m عند ضغط مطلق مقداره 1.20atm؟

(17) قاعة أبعادها 10.0m x 20.0m x 30.0m. كم عدد جزيئات الهواء التي تملأ القاعة عند درجة حرارة 20.0°C وضغط 101kPa؟

Answer: $1.50x10^{29}$ molecules



د. حازم فلاح سكيك
www.trgma.com



(18) مقدار 9.00g من الماء وضع في وعاء ضغط حجمه 200L وسخن الى درجة حرارة 500^oC. ما هو مقدار الضغط في داخل الوعاء؟

(19) مول واحد من غاز الأكسجين عند ضغط مقداره 6.00atm ودرجة حرارة 27.0^oC. (a) إذا سخن الغاز عند ثبوت الحجم حتى تضاعف الضغط بثلاث مرات، ما مقدار درجة الحرارة النهائية؟ (b) إذا سخن الغاز حتى تضاعف كلا من الضغط والحجم، ما مقدار درجة الحرارة النهائية؟

(20) إذا علمت إن كتلة بالون هواء مع حمولته (بدون الهواء داخله) هي 200kg. وكان درجة حرارة الهواء الخارجي 10.0^oC والضغط 101kPa. حجم البالون $400m^3$. كم هي درجة الحرارة المطلوبة لتسخين البالون ليتمكن من الطيران؟ (كثافة الهواء عند 10.0^oC تساوي $1.25kg/m^3$).

Answer: (a) -472 K

(21) (a) اوجد عدد المولات في متر مكعب من الهواء عند درجة حرارة 20.0^oC وعند الضغط الجوي. (b) للهواء، عدد افوجادرو لجزئيات الهواء كتلتها 28.9g. احسب كتلة المتر المكعب من الهواء. قارن النتيجة التي ستحصل عليها مع القيمة المعروفة لكثافة الهواء.

Answer: (a) 41.6 mol (b) 1.20 kg, (وهذا يتفق مع القيم المعروفة)





(22) مكعب طول ضلعه 10.0cm يحتوي على الهواء (كتلته المولية 28.9g/mol) عند الضغط الجوي ودرجة حرارة 300K. اوجد (a) كتلة الغاز، (b) وزنه، (c) القوة التي يبذلها الغاز على كل وجه من أوجه المكعب، (d) وضح فيزيائيا سبب لماذا عينة صغيرة من الغاز لها تأثير كبير.

Answer: (a) 1.17 g (b) 11.5 mN (c) 1.01 kN (d) الجزئيات تتحرك بسرعة كبيرة جدا

(23) عند عمق 25.0m تحت سطح البحر (ρ=1025kg/m^2)، حيث درجة الحرارة تبلغ 5.00^{o}C، يخرج الغواص أثناء الزفير فقاعات هواء حجمها 1.00cm^3. إذا كانت درجة حرارة سطح البحر 20.0^{o}C، ما هو حجم فقاعات الهواء قبل أن تخرج من سطح البحر؟

(24) مقياس ضغط مثبت على خزان يسجل مقدار الفرق بين الضغط الخارجي والداخلي للخزان. عندما كان الخزان مملوء بالكامل بغاز الأكسجين (O_2)، فانه يحتوي على 10.0kg من الغز عندما كانت قراءة مقياس الضغط تشير إلى 40.0atm. حدد مقدار كتلة الأكسجين التي سحبت من الخزان عندما كانت القراءة تشير إلى 25.0atm. افترض أن درجة الحرارة في الخزان لا تتغير.

Answer: 4.39 kg

(25) حدد مقدار كتلة الهواء في غرفة نومك. اذكر الكميات الفيزيائية التي سوف تستخدمها في قياساتك وكيف قدرتها؟





(26) في كل علبة كوكاكولا يوجد 6.50g من غاز ثاني أكسيد الكربون مذاب في 1.00L من العصير. إذا كان الغاز المتبخر من ثاني أكسيد الكربون محصور في العلبة عند ضغط 1.00atm ودرجة حرارة 20.0^oC، ما هو حجم الغاز؟

Answer: 3.55 L

(27) في مضخة هواء تم الوصول إلى ضغط يصل إلى $10^{-9}Pa$. احسب عدد الجزئيات في وعاء حجمه $1.00m^3$ إذا كانت درجة الحرارة 27.0^oC.

(28) غرفة حجمها V تحتوي على هواء كتلته المولية M بوحدة (g.mol). إذا ارتفعت درجة حرارة الغرفة من T_1 إلى T_2، ما مقدار كتلة الهواء التي سوف تترك الغرفة؟ افترض إن ضغط الهواء في الغرفة ثابت ويساوي P_o.

Answer: $m_1 - m_2 = \frac{P_o VM}{R}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$

د. حازم فلاح سكيك
www.trgma.com





إجابات أسئلة التفكير

1.19 (c) يعتمد اتجاه انتقال الحرارة على درجة الحرارة وليس على حجم الجسم ولا على كتلته.

2.19 (c) تشير جملة (واحدة درجة حرارتها أكثر بمرتين من الأخرى) إلى النسبة بين درجات الحرارة. فعندما نحول درجة الحرارة إلى الكلفن فان القيم في الجزء (c) هي التي لها النسبة الصحيحة.

3.19 (c) الجازولين يمتلك اكبر معامل تمدد حجمي.

4.19 (c) التجويف في المادة يتمدد بنفس الطريقة كما لو كان مملوء بالمادة.

5.19 (a) في اليوم البارد الهواء المحصور في الفقاعات يقل ضغطه طبقا لقانون الغاز المثالي. ولهذا، فان حجم الفقاعات ممكن أن يقل أكثر في اليوم الحار، وبالتالي فان المحتويات سوف تنزاح أكثر.

6.19 (b) لان نقصان درجة حرارة الهليوم، فان الضغط سوف يقل في البالون. الضغط الجوي المحيط بالبالون يضغط البالون لحجم اصغر حتى يصبح الضغط داخل البالون مساويا للضغط الجوي.

7.19 (b) لان الزيادة في درجة الحرارة، فان الهواء يتمدد. ينتج عن ذلك أن بعض الهواء يتسرب للخارج تاركا هواء اقل في المنزل.



د. حازم فلاح سكيك
www.trgma.com